

Beschreibung

Verfahren, Schnittstelle und Netzwerk zum zyklischen Versenden von Ethernet-Telegrammen

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Schnittstelle und ein Netzwerk zum zyklischen Versenden von Ethernet-Telegrammen.

- 10 Das Ethernet ist die am weitesten verbreitete Technologie, mit der in lokalen Kommunikationsnetzen, sog. Local Area Networks (LAN), Daten aktuell mit einer Geschwindigkeit bis zu 100 Mio. Bits/s (Mbps) übertragen werden können. LANs sind lokale Kommunikationsnetzwerke, die auf ein geografisches Gebiet begrenzt sind und sich aus einem oder mehreren Servern und Arbeitsstationen, sog. Knoten zusammensetzen, die über eine Übertragungsstrecke, z.B. ein Koaxial-, Glasfaser- oder Twisted Pair-Kabel verbunden sind. Bei LANs sind verschiedenste Netzwerktopologien möglich, wobei die bekanntesten die Bus-, Ring-, Stern- oder Baumstrukturen sind.
- 15
- 20

- LANs werden mit einem Netzwerk-Betriebssystem und einem einheitlichen Netzwerk-Protokoll betrieben. Das Ethernet stellt ein mögliches Netzwerkprotokoll dar und unterstützt dabei die unterschiedlichsten Kommunikationsprotokolle, z.B. das TCP/IP-Protokoll oder das IPX-Protokoll. Im OSI-Schichtenmodell, dem internationalen Referenzmodell für Datenübertragung in Netzwerken, das aus einem Schichtenstapel aus sieben Schichten aufgebaut ist, wobei für jede Schicht eine Menge von Protokollen definiert ist, die jeweils der nächst höheren Schicht ihre Dienste zur Verfügung stellen, ist das Ethernet der zweiten Schicht, der sog. Leitungsschicht zugeordnet. In dieser Leitungsschicht werden die zu versendeten Daten zu Telegrammen gebündelt, denen spezifische Informationen für das jeweilige Kommunikationsprotokoll hinzugefügt werden. Die Leitungsschicht ist im Netzwerk für den Transport der Daten-
- 25
- 30
- 35

telegramme von Knoten zu Knoten und für die Fehlererkennung zuständig.

5 Beim Ethernet-Konzept ist die Leitungsschicht in zwei Ebenen unterteilt, wobei die erste Ebene den Daten einen Kopfab- schnitt, einen sog. Startkennung hinzufügen, der Informatio- nen enthält, die für eine korrekte Datenübertragung vom Emp- fängerprotokoll benötigt werden. In der zweiten Ebene des E-
10 thernet-Protokolls wird dann das Datentelegramm mithilfe ei- ner zusätzlichen Präambel und eines Endabschnitts, einer sog. Checksumme, für den Transport von Knoten zu Knoten eingekap- selt. Mit solchen Ethernet-Telegrammen lassen sich Daten mit einer Länge von bis zu 1500 Bytes übertragen, wobei zwischen den einzelnen Ethernet-Telegrammen eine feste Pausenzeit ein-
15 zuhalten ist.

Für das Versenden und das Empfangen der Ethernet-Telegramme auf der Ethernet-Übertragungsstrecke ist ein Ethernet- Controller, auch als Media Access Controller (MAC) bezeich-
20 net, zuständig, der zwischen den Knoten und die Ethernet- Übertragungsstrecke geschaltet und über ein Bussystem mit dem Knoten verbunden ist. Dieser Ethernet-Controller wird in der Regel durch einen Software-Treiber, der im jeweiligen Be- triebssystem des Knotens eingebunden ist, gesteuert. Der E-
25 thernet-Controller umfasst im Allgemeinen ein Sende- und ein Empfangs-Schieberegister, um die Ethernet-Übertragungsstrecke von dem physikalischen Speicher des Knotens zu entkoppeln. Moderne Ethernet-Controller besitzen weiter in der Regel eine direkte Zugriffsmöglichkeit auf den physikalischen Speicher
30 des Knotens, einen sog. Direct Memory Access (DMA), wodurch der Software-Treiber im Betriebssystem des Knotens zeitspa- rend die zu sendenden und zu empfangenen Ethernet-Telegramme direkt im Speicher des Knotens ablegen bzw. aus diesem Spei- cher abholen kann.

35

Ethernet-Protokolle werden vornehmlich bei Bürokommunikati- onsnetzwerken eingesetzt. Aufgrund der Vorteile des Ethernet-

- Konzepts bei der Nutzung von Standard-Hard- und -softwarekomponenten sowie der Möglichkeit, bei einfacher Vernetzungstechnologie hohe Datenübertragungsraten zu erreichen, werden Ethernet-Kommunikationsnetzwerke zunehmend auch in der industriellen Fertigung zum Datenaustausch zwischen Arbeitsstationen einzusetzen. Beim Einsatz des Ethernet-Protokolls in der Automatisierungstechnik muss jedoch mithilfe zusätzlicher aufwändiger Hard- und/oder Softwaretechniken die Echtzeitfähigkeit der Ethernet-Datenübertragung sichergestellt werden.
- Bei der Steuerung von Maschinen ist es in der Regel erforderlich, dass eine zyklische Bearbeitung einer Steuerungsaufgabe im Wesentlichen ohne zeitliche Schwankungen, d.h. sog. Jitter erfolgt, wobei mit einer vorhersehbaren Antwortzeit auf die Regelanforderung reagiert wird.
- Sollen z. B. im Rahmen einer auf einem als Knoten in eine Ethernet-Netzwerk ausgebildeten Steuerungsrechner laufenden Echtzeitanwendung zyklisch Ethernet-Telegramme versendet werden, um per Ethernet-Übertragungsstrecke angebundene Sensoren und Aktoren anzusprechen, übergibt der Steuerungsrechner über den im Betriebssystem integrierten Software-Treiber in jedem Steuerungszyklus entsprechende Ethernet-Telegramme an seinen Ethernet-Controller zum Versenden. Dabei fügt der Software-Treiber vor der Übergabe an den Ethernet-Controller den zu versendenden Echtzeitdaten automatisch die in der Ethernet-Übertragungsnorm (IEEE 802.3) definierten Pausenzeiten, Startkennungen, Präambeln und Checksummen hinzu. Der Ethernet-Controller lädt dann, vorzugsweise mithilfe der Direct Memory Access-Übertragung, die entsprechenden Ethernet-Telegramme in seinen Sende-Schieberegister und beginnt ab einem bestimmten Füllstand des Sende-Schieberegisters mit dem Versenden der Ethernet-Telegramme auf der Ethernet-Übertragungsstrecke.
- In dieser Sende-Abfolge des Steuerungsrechners mit angeschlossenem Ethernet-Controller sind mehrere Jitter-behaftete Vorgänge enthalten, deren Jitter sich im ungünstigsten Fall

aufsummieren und dann einen maximal zulässigen Wert für die Echtzeitanwendung, der in der Regel im Bereich von einigen wenigen Mikrosekunden liegt, übersteigt. Zum Jitter tragen dabei die schwankenden Interrupt-Latenzzeiten im Knoten beim Erzeugen der zu versendenden Daten und die Laufzeitschwankungen des bis zum Senden des Ethernet-Telegramms durchlaufenden Programmcodes bei. Bei modernen Steuerungsrechnern, die über einen Cache-Speicher verfügen, schwankt zusätzlich auch die Laufzeit der Programmcodes, da je nach Cache-Inhalt unterschiedlich lange auf den angeforderten Inhalt des Speichers im Knoten gewartet werden muss.

Der Ethernet-Controller ist in der Regel über ein Bussystem mit dem Knoten verbunden, wobei häufig ein PCI-Bus verwendet wird. Da ein solcher Bus im Allgemeinen auch von anderen Systemteilen genutzt wird, kann es bei der Buszuteilung zu unterschiedlich langen Wartezeiten kommen. Dies gilt sowohl dann, wenn der Ethernet-Controller per Direct Memory Access-Übertragung auf den physikalischen Speicher des Steuerungsrechners zugreift, als auch für den Fall, dass die Echtzeitdaten unter Kontrolle des Software-Treibers über das Bussystem übertragen werden. Es treten immer ähnliche Jitter bei der Buszuteilung auf. Der Ethernet-Controller beginnt darüber hinaus immer erst ab einem bestimmten Füllstand des Sendeschieberegisters mit dem Versenden der Ethernet-Telegramme auf der Ethernet-Übertragungsstrecke. Dabei kann sich dann das Senden der Ethernet-Telegramme je nach Füllstand des Sendeschieberegisters unterschiedlich lange verzögern, was zu einem zusätzlichen Jitter führt.

Ist der sich ergebende Gesamtjitter beim Sendevorgang höher als für die jeweilige Echtzeitanwendungen maximal zulässig Jitter, muss eine solche Abweichung mithilfe eines aufwändigen Verfahrens, wie z.B. dem IEEE 1588 (IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems) eine entsprechend genaue Zeitbasis in allen Kommunikationsteilnehmern an der Ethernet-

Übertragungsstrecke geschaffen werden, mit deren Hilfe sich dann der Jitter kompensieren lässt.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Versenden von
5 Daten in Form von Ethernet-Telegrammen auf einer Ethernet-Übertragungsstrecke, eine Schnittstelle zum Anbinden eines Knotens an eine Ethernet-Übertragungsstrecke und ein Ethernet-Netzwerk bereitzustellen, mit denen sich auf einfache Weise jitterfrei und zyklisch Ethernet-Telegramme, insbeson-
10 dere mit Echtzeitdaten versenden lassen.

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren nach Anspruch 1, einer Schnittstelle nach Anspruch 9 und einem Ethernet-Netzwerk nach Anspruch 14 gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen sind in
15 den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß wird zum Versenden von Daten in Form von Ethernet-Telegrammen auf einer Ethernet-Übertragungsstrecke mit Hilfe einer Schnittstelle zum Anbinden eines Knotens an
20 die Ethernet-Übertragungsstrecke die zu versendenden Daten mithilfe einer Umsetzeinheit gemäß einer Übertragungsnorm des Ethernet-Protokolls umgesetzt, um Ethernet-Telegramme bereitzustellen, und mithilfe einer Sendeeinheit dann fortlaufend die bereitgestellten Ethernet-Telegramme versendet, wobei
25 kontinuierliche Ethernet-Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke ausgegeben werden.

Durch das erfindungsgemäße kontinuierliche Senden von Ethernet-Telegrammen wird eine exakte Wiederholbarkeit des Sendevorgangs und damit ein jitterfreies Versenden der Ethernet-Telegramme ermöglicht. Dadurch, dass die Schnittstelle zur Anbindung des Knotens an das Ethernet im Anschluss an ein gesendetes Ethernet-Telegramm direkt das nächste Ethernet-Telegramm versendet, wird gewährleistet, dass alle jitterbehafteten Vorgänge in der Sendeabfolge vom Umsetzen der zu versendenden Daten in Ethernet-Telegramme bis zur Ausgabe der Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke kompensiert

werden. Das Timing des Sendevorgangs wird nämlich ausschließlich durch die Schnittstelle des Knotens zum Ethernet bestimmt, wobei durch das kontinuierliche Versenden der Telegramme deren völlige Jitterfreiheit sichergestellt wird.

5

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zum fortlaufenden Senden der bereitgestellten Ethernet-Telegramme bei einer vorgebenen Länge der Ethernet-Telegramme die Länge der Zykluszeit im Rahmen der maximal zulässigen
10 Dauer des Zyklus angepasst, um während der gesamten Zykluszeit kontinuierlich Ethernet-Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke auszugeben. Diese Vorgehensweise sorgt für einen kontinuierlichen Sendevorgang der Ethernet-Telegrammen im Rahmen einer vorgebenen maximalen Sendezyklus-
15 dauer bei gleichzeitig optimaler Nutzung der Zykluslänge, wobei der bei der Erzeugung der Ethernet-Telegramme auftretende Jitter völlig ausgeglichen wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird beim fortlaufenden Versenden der Ethernet-
20 Telegramme mithilfe der Schnittstelle die Anzahl und/oder die Länge der in einem Zyklus zu versendenden Ethernet-Telegramme an eine vorgegebene Zykluszeit so angepasst, dass während der gesamten vorgegebenen Zykluszeit kontinuierlich Ethernet-
25 Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke ausgegeben werden können. Diese Vorgehensweise ermöglicht einen kontinuierlichen Sendevorgang der Ethernet-Telegrammen im Rahmen eines Sendezyklus bei gleichzeitig optimaler Nutzung der im Zyklus möglichen Datenbreite, wobei der bei der Erzeugung der
30 Ethernet-Telegramme auftretende Jitter völlig ausgeglichen wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden bei der Anpassung der Ethernet-Telegramme die Baudrate der Ethernet-Übertragungsstrecke, die Länge der beim Umsetzen der Daten gemäß der Übertragungsnorm des Ethernet-Protokolls jeweils in das Ethernet-Telegramm eingefügten Startkennung,

Präambel und Checksumme und die Länge der zwischen den zu versendenden Ethernet-Telegrammen einzuhaltenden Pausenzeiten berücksichtigt. Durch diese Vorgehensweise lässt sich auf einfache Weise die optimale Länge der kontinuierlich auf der Ethernet-Übertragungsstrecke zu versendenden Ethernet-Telegramme bestimmen. Bevorzugt ist dabei weiterhin, dass berücksichtigt wird, dass dann, wenn die berechnete Länge des Ethernet-Telegramms größer als die maximal mögliche Länge des Ethernet-Telegramms ist, die Anzahl und die Länge der zu sendenden Ethernet-Telegramme so gewählt wird, dass in einem Zyklus mehrere vorzugsweise gleich lange Ethernet-Telegramme versendet werden, deren gemeinsame Bitlänge der Zykluszeit entspricht. Hierdurch wird sichergestellt, dass auf einfache Weise eine optimale Länge der zu versendenden Ethernet-Telegramme bestimmt werden kann.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden die bereitgestellten Ethernet-Telegramme in einem Zwischenspeicher abgelegt, wobei die Schnittstelle den Sendevorgang in Abhängigkeit eines vorgegebenen Füllstandes im Zwischenspeicher startet. Diese Vorgehensweise sorgt dafür, dass immer genügend zu sendende Ethernet-Telegramme in der Schnittstelle vorhanden sind, um einen kontinuierlichen Sendevorgang zu gewährleisten. Hierdurch wird verhindert, dass der Sendevorgang leerläuft und es dadurch zu Telegrammverzögerungen kommt, die dann zu einer Zyklusverletzung führen würden.

Erfindungsgemäß ist weiter vorgesehen, dass dann, wenn die Daten Echtzeitdaten sind, eine die zu versendenden Echtzeitdaten erzeugende Echtzeitanwendung im Knoten mit dem Sendevorgang der Ethernet-Telegramme synchronisiert ist. Diese Vorgehensweise verhindert einen Überlauf mit Ethernet-Telegrammen in der Schnittstelle beim Sendevorgang, der dazu führen würde, dass die Ethernet-Telegramme nicht mehr schnell genug versendet werden können. Dadurch, dass die im Knoten ablaufende Echtzeitanwendung auf die Zeitbasis der den Sendevorgang ausführenden Schnittstelle abgestimmt ist, wird ge-

währleistet, dass der Knoten Ethernet-Telegramm nur abgestimmt mit dem Sendevorgang der Schnittstelle liefert und somit kein Überlauf an Ethernet-Telegrammen auftritt.

- 5 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das Ethernet-Netzwerk mit der Ethernet-Übertragungsstrecke, an der eine Mehrzahl von Knoten angebunden sind, so ausgelegt, dass die Ethernet-Telegramme auf dem Sendekanal kollisionsfrei übertragen werden können. Hierdurch wird gewährleistet, dass
10 auf dem Ethernet kontinuierlich gesendet werden kann, ohne dass es aufgrund von Kollisionen auf der Übertragungsstrecke zu einer Unterbrechung des Sendevorgangs und damit zu einer Zyklusverletzung kommt.
- 15 Bevorzugt ist dabei weiterhin, dass die Ethernet-Übertragungsstrecke eine ringförmig angeordnete Topologie aufweist, wobei die vom Sendeknoten versandten Ethernet-Telegramme von einem Knoten zum nächsten weitergeleitet werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine kollisionsfreie Übertragung der Ethernet-Telegramme mit geringer Verzögerung
20 von einem Knoten zum nächsten.

Die Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- 25 Fig. 1A ein Ethernet-Netzwerk;
Fig. 1B einen erfindungsgemäßen Auslegung eines Knoten-Anschlusses im Ethernet-Netzwerk;
Fig. 2A ein Ethernet-Telegramm und
Fig. 2B einen erfindungsgemäßen Sendevorgang.

30

- Das Ethernet-Konzept ist der am weitesten verbreitete Kommunikationsstandard in lokal begrenzten Kommunikationsnetzwerken (LAN), über die sich auf einfache Weise Datenressourcen zwischen Arbeitsstationen, im Allgemeinen Computer oder Maschinen, im Weiteren auch als Knoten bezeichnet, gemeinsam
35 nutzen lassen. Das Ethernet basiert dabei auf einem LAN-Aufbau, bei dem eine Mehrzahl von Knoten über ein gemeinsames

Übertragungsmedium miteinander verbunden sind, wobei das Ethernet-Konzept die Verkapselung der zu übermittelnden Daten in Datenpaketen, im Weiteren auch als Ethernet-Telegramme bezeichnet, mit einem vorbestimmten Format vornimmt. Das Ethernet besteht dabei aus drei Bereichen, nämlich der Übertragungsstrecke und den Netzwerk-Schnittstellen, also der Hardware, der Menge an Protokollen, die den Zugriff auf die Ethernet-Übertragungsstrecke steuern, und dem Ethernet-Telegrammformat.

10

Fig. 1A zeigt schematisch ein Ethernet-Netzwerk, bei dem mehrere Knoten 1 über eine Ethernet-Übertragungsstrecke 2 miteinander verbunden sind. Die Anbindung des Knotens an die Ethernet-Übertragungsstrecke erfolgt dabei mithilfe eines Ethernet-Controllers 3, der vorzugsweise in den zugehörigen Knoten integriert ist. Ein erfindungsgemäßer Knoten 1 mit angeschlossenem Ethernet-Controller 3 zur Anbindung an die Ethernet-Übertragungsstrecke 2 ist im Detail in Fig. 1B gezeigt. Für das Versenden der Ethernet-Telegramme im Ethernet-Controller ist eine Codiereinheit 31 zuständig, für den Empfang der Ethernet-Telegramme von der Übertragungsstrecke 2 eine Decodiereinheit 32. An die Codiereinheit 31 bzw. die Decodiereinheit 32 ist jeweils ein als Schieberegister ausgelegter Zwischenspeicher 33, 34 angeschlossen, um die zu versendenden bzw. empfangenen Ethernet-Telegramme zwischenspeichern. Diese Sende- und Empfangs-Schieberegister 33, 34 wiederum sind vorzugsweise so ausgelegt, dass sie auf einen physikalischen Speicher 11 im Knoten 1 direkt mithilfe des sogenannten Direct Memory Access (DMA) Modus zugreifen können. Alternativ besteht die Möglichkeit, dass der Datenaustausch zwischen dem Sende-Schiebespeicher 33 bzw. dem Empfangs-Schiebespeicher 34 und dem physikalischen Speicher 11 über eine zentrale Recheneinheit (CPU) 12 des Knotens 1 erfolgt. Der direkte Zugriff über den DMA-Modus ermöglicht jedoch einen beschleunigten Datenaustausch.

30

35

Die Steuerung des Datenaustausches zwischen dem physikalischen Speicher 11 des Knotens 1 und der Schnittstelle 2 erfolgt in der Regel durch die CPU 12 des Knotens 1. Die CPU 12 des Knotens verwaltet weiter auch alle zum Betrieb des Ethernet notwendigen Vorgänge, d.h. führt das Management des Send- und Empfangsvorgangs durch und sorgt für die Verkapselung der zu versendenden Daten des Knotens in Ethernet-Telegramme bzw. das Entpacken der Daten aus den empfangenen Ethernet-Telegrammen. Das auf der CPU 12 des Knotens 1 implementierte Betriebssystem weist in der Regel eine geschichtete Softwarestruktur auf, um eine protokollspezifische Bearbeitung von einer telegramm- und hardwarespezifischen Bearbeitung zu trennen. Dadurch ist es möglich, unterschiedliche Kommunikationsprotokolle beim Ethernet-Standard einzusetzen, ohne am hardwarespezifischen Treiber Änderungen durchführen zu müssen. Gleichzeitig kann dann auch die Hardware des Knotens geändert werden, ohne gleichzeitig eine protokollspezifische Softwareänderung ausführen zu müssen.

Ein Ethernet-Telegramm 5, dessen Struktur in Fig. 2A schematisch gezeigt ist, kann bis zu 1500 Bytes enthalten und setzt sich aus einem Kopfteil mit einer Startkennung 51, einer Präambel 52, die die Ziel- und Quelladresse und den Datenpakettyp kennzeichnet, einem Mittelteil 53 mit Daten und einem eine Checksumme enthaltenden Endteil 54, die als Fehlerkennungsmechanismus dient, zusammen.

Ein Sendevorgang von Ethernet-Telegramme über die Ethernet-Übertragungsstrecke 2 wird so ausgeführt, dass der in der CPU 12 eingesetzte Software-Treiber die zu versendenden Daten in Ethernet-Telegramme umsetzt, die, wenn der Ethernet-Controller 3 im DMA-Modus arbeitet, im physikalischen Speicher 11 des Knotens 1 abgelegt werden. Auf diese abgespeicherten Ethernet-Telegramme greift dann das Sendeschieberegister 33 des Ethernet-Controllers 3 zu, um die Ethernet-Telegramme in das Schieberegister zu laden. Wenn unter Steuerung durch den Software-Treiber in der CPU 12 vom

physikalischen Speicher 11 genügend Ethernet-Telegramme auf das Sende-Schieberegister 33 übertragen wurden und damit ein ausreichender Füllstand erreicht ist, gibt das Sende-Schieberegister 33 die zwischengespeicherten Ethernet-Telegramme über die Codiereinheit 31 auf die Ethernet-Übertragungsstrecke 2 aus. Eine Ethernet-Datenübertragung findet dabei nur dann statt, wenn das Ethernet-Netzwerk ruhig ist. Darüber hinaus ist in der Regel zusätzlich ein Kollisionsverhinderungsmechanismus auf der Ethernet-Übertragungsstrecke 2 vorgesehen.

Beim Empfang von Ethernet-Telegrammen werden die empfangenen Ethernet-Telegramme von der Decodiereinheit 32 im Empfangs-Schieberegister 34 zwischengespeichert, wobei der Ethernet-Controller 3 einen Interrupt im Knoten 1 auslöst. Dieser Interrupt veranlasst den Software-Treiber der CPU 12 im Knoten 1, die empfangenen Telegramme über den DMA-Modus in den physikalischen Speicher 11 überzuführen und dann an das Betriebssystem im Knoten zur Verarbeitung weiterzuleiten.

Das Ethernet-Konzept wird vor allem deshalb als Kommunikationsprotokoll für Netzwerksysteme genutzt, da Standard-Hardware- und -softwarekomponenten verwendet werden können und darüber hinaus eine hohe Datenübertragungsrate möglich ist. Beim Einsatz des Ethernet-Standards in industrieller Umgebung, insbesondere für Automatisierungsaufgaben, muss das Ethernet-Protokoll aber eine Echtzeit-Datenübertragung gewährleisten. Um zuverlässig eine Echtzeitanwendung, wie z. B. eine Maschinensteuerung mithilfe eines Ethernet-Netzwerkes ausführen zu können, ist ein Datenaustausch mit Zykluszeiten von 50 μ sec bei zulässigen Jitterzeiten, d.h. Abweichungen von der gewünschten Zykluszeit von 10 μ sec erforderlich.

Wenn ein Steuerungsrechner, der einen Knoten 1 in einem Ethernet-Netzwerk darstellt, Sensoren oder Aktoren, die als weitere Knoten an die Ethernet-Übertragungsstrecke 2 angebunden sind, in Echtzeit steuern soll, werden vom Steuerungs-

rechner in jeden Steuerungszyklus mithilfe des in seiner CPU
12 eingespeicherten Software-Treibers Ethernet-Telegramme 5
an den zugehörigen Ethernet-Controller 3 zum Senden überge-
ben. Der Ethernet-Controller 3 wird dann die entsprechenden
5 Ethernet-Telegramme 5, vorzugsweise per DMA-Modus in sein
Sende-Schieberegister 33 laden und ab einem bestimmten Füll-
stand dieses Senderegisters mit dem Versenden der Ethernet-
Telegramme auf der Ethernet-Übertragungsstrecke 2 beginnen.

10 In dieser Sendeabfolge sind jedoch mehrere jitterbehaftete
Vorgänge enthalten, deren Jitter sich im ungünstigsten Fall
aufsummiert. Ein erster Jitter ergibt sich bereits aus den
schwankenden Interrupt-Latenzzeiten des Betriebssystems des
Steuerungsrechners und des Software-Treibers beim Umsetzen
15 der Ethernet-Telegramme. Weiterhin treten Laufzeitschwankun-
gen des bis zum Versenden des Ethernet-Telegrammen durchlau-
fenden Datencodes auf. Bei modernen Steuerungsrechnern, die
über einen Cache-Speicher verfügen, schwanken zusätzlich auch
die Laufzeiten ein und desselben durchlaufenden Datencodes,
20 da je nach Cache-Inhalt unterschiedlich lange auf den ange-
forderten Speicher gewartet werden muss. Weitere Jitter erge-
ben sich zudem bei der Übergabe der Ethernet-Telegramme an
den Ethernet-Controller. Der Ethernet-Controller ist über ein
Bussystem, z.B. einen PCI-Bus, an den Steuerungsrechner, an-
25 gebunden. Da der Bus auch von anderen Systemteilen des Steue-
rungsrechners genutzt wird, kann es bei der Buszuteilung zu
unterschiedlich langen Wartezeiten beim Zugriff des Ethernet-
Controllers auf den physikalischen Speicher zur Übergabe der
Ethernet-Telegramme an das Sende-Schieberegister kommen. Auch
30 dann, wenn der Ethernet-Controller nicht per DMA-
Übertragungsmodus arbeitet, sondern die Daten über die CPU
aus dem physikalischen Speicher in das Sende-Schieberegister
des Ethernet-Controllers übertragen werden, treten ähnliche
Jitter bei der Buszuteilung auf. Weiterhin wird das Senden
35 der Ethernet-Telegramme je nach Füllstand der Sende-
Schieberegister unterschiedlich lang verzögert. Wenn sich al-
le genannten jitterbehafteten Vorgänge aufsummieren, besteht

die Gefahr, dass der sich ergebende Gesamtjitter höher als der für die jeweilige Echtzeitanwendung zulässige Jitter ist und dann keine Echtzeitsteuerung mehr gewährleistet wird.

5 Um nicht, wie herkömmlicherweise aufwändige Verfahren zur Angleichung der Zeitbasis zwischen den einzelnen Knoten und damit zur Kompensation der Kommunikationsjitter ausführen zu müssen, wird erfindungsgemäß der Ethernet-Controller 3 über den Software-Treiber auf der CPU 12 des Rechner-Knotens 1 so
10 programmiert, dass ohne Pause Ethernet-Telegramme 5 aus dem Sende-Schieberegister 33 versendet werden. Dabei wird das Sende-Schieberegister 33 und die angeschlossene Codiereinheit 31 des Ethernet-Controllers 3 so gesteuert, dass im Anschluss an ein gesendetes Ethernet-Telegramm direkt das nächste Ethernet-Telegramm unter Einhaltung der in der Ethernet-
15 Übertragungsnorm definierten Pausenzeit gesendet wird.

Um zu gewährleisten, dass bei einer vorgegebenen Zykluszeit der auszuführenden Echtzeitanwendung kontinuierlich Ethernet-
20 Telegramme versendet werden, berechnet der Software-Treiber der CPU 12, wie viele und wie lange Ethernet-Telegramme versendet werden müssen, um die vorgegebene Zykluszeit exakt einzuhalten. Der Softwaretreiber stellt die zu versendenden Daten 53 gemäß der Ethernet-Übertragungsnorm in entsprechend
25 lange Ethernet-Telegramme 5 mit Startkennung 51, Präambel 52 und Checksumme 54 zusammen und legt sie im physikalischen Speicher 11 des Knotens 1 ab. Das Sende-Schieberegister 33 des Ethernet-Controllers 3 greift dann auf diese Ethernet-Telegramme 5 zu und speichert sie zwischen. Ab einem gewissen
30 Füllstand im Sende-Schieberegister 33 wird dann mit dem Sendevorgang begonnen, wobei kontinuierlich Ethernet-Telegramme versendet werden, wie in Fig. 2B gezeigt ist. Hier ist ein Sendevorgang dargestellt, bei dem innerhalb einer vorgegebenen Zykluszeit zwei gleich lange Telegramme unter Einhaltung
35 der vorgeschriebenen Pausenzeit versendet werden.

Mithilfe des im Ethernet-Controller 3 integrierten Sendeschieberegisters 33 wird die Bereitstellung der Ethernet-Telegramme durch den Software-Treiber der CPU 13 im physikalischen Speicher 11 des Knotens 1 vom Sendezeitpunkt dieser Ethernet-Telegramme entkoppelt, so dass der bei der Echtzeitanwendung und die bei der Übertragung der Ethernet-Telegramme auf den Ethernet-Controller 3 entstehenden Jitter ausgeglichen werden. Da das Timing des Sendevorgangs ausschließlich vom Ethernet-Controller 3 und der nachgeschalteten Übertragungsphysik der Ethernet-Übertragungsstrecke 2 abhängt und der Ethernet-Controller aus seinem Sendeschieberegister 33 Ethernet-Telegramme 5 kontinuierlich sendet, ist eine exakte Wiederholbarkeit und damit ein jitterfreies Senden möglich.

Um ein kontinuierliches Senden der Ethernet-Telegramme zu ermöglichen, ist die Echtzeitanwendung im Knoten über den Software-Treiber der CPU 12 auf den Ethernet-Controller 3 synchronisiert. Der Ethernet-Controller 3 legt die Zeitbasis fest, auf die die Echtzeitanwendung auf dem Steuerungsrechner 1 synchronisiert ist. Dadurch wird sichergestellt, dass vom Software-Treiber der CPU 12 immer genügend zu sendende Ethernet-Telegramme an den Ethernet-Controller 3 übergeben werden, um zu verhindern, dass das Sendeschieberegister 33 des Ethernet-Controllers 3 leerläuft, und so Telegrammverzögerungen auftreten, die zu einer Zykluszeitverletzung führen würden. Weiterhin wird durch die Synchronisierung der Echtzeitanwendung im Knoten 1 auf die Zeitbasis des Ethernet-Controllers 3 gewährleistet, dass nicht zu viele Ethernet-Telegramme an den Ethernet-Controller 3 übergeben werden und somit ein Überlauf im Sendeschieberegister 33 stattfindet und die Ethernet-Telegramme nicht mehr schnell genug versendet werden können.

Bei der Berechnung der Anzahl und der Länge in einem Zyklus der Echtzeitanwendung zu versendenden Ethernet-Telegramme berücksichtigt der Software-Treiber der CPU 12 im Knoten 1 sowohl die auf der Ethernet-Übertragungsstrecke 2 verwendete

Baudrate als auch die bei der Verkapselung der zu versenden-
den Daten automatisch eingefügten zusätzlichen Daten, d.h.
Startkennung 51, Präambel 52 und Checksumme 54, sowie die
zwischen den Ethernet-Telegrammen einzuhaltenden Pausenzei-
ten. Diese zusätzlichen Signale sind in der Ethernet-Norm
IEEE 802.3 festgelegt und betragen bei einem 100-Base-TX-
Ethernet, also einem Fast Ethernet mit 100 MBaud für die
Startkennung 8 Bit, für die Präambel 56 Bit, für die Check-
summe 32 Bit und die Pausenzeit 69 Bit.

Soll nun eine Zykluszeit der Echtzeitanwendung von $x \mu\text{sec}$ er-
reicht werden, dann gilt folgende Formel: (L ist die maximale
Bitlänge des Ethernet-Telegramms)

$$L = (x \cdot 100) - (8 + 56 + 32 + 69)$$

Für eine Zykluszeit von $100 \mu\text{sec}$ ergibt sich dann:

$$L = 9808 \text{ Bits} = 1226 \text{ Bytes.}$$

Der Software-Treiber der CPU 12 im Knoten 1 kann also in ei-
ner Zykluszeit von $100 \mu\text{sec}$ ein oder auch mehrere gleich lan-
ge Telegramme mit einer Gesamtlänge einschließlich der Pau-
senzeiten von 1226 Bytes versenden. Wenn z.B. zwei Telegramme
versendet werden, so beträgt die Bytelänge dann 613 Bytes pro
Telegramm (einschließlich Pausenzeit). Eine Aufteilung in meh-
rere Telegramme ist dann zwingend erforderlich, wenn die bei
einer Zykluszeit sich ergebende Telegrammlänge größer als die
maximale Ethernet-Telegramme von 1500 Byte ist. Es müssen
dann immer entsprechend mehrere Ethernet-Telegramme zur Nut-
zung der vollen Zykluszeit gesendet werden. Wird z.B. eine
Zykluszeit von $500 \mu\text{sec}$ vorgegeben, können fünf Telegramme
mit je 1226 Byte ($100 \mu\text{sec}$) gesendet werden.

Alternativ zu Vorgabe einer Zykluszeit besteht auch die Mög-
lichkeit, um einen kontinuierlichen Versand von Ethernet-
Telegramme zu erreichen, die Länge der zu versendenden Ether-

net-Telegramme vorzugeben, um daraus dann die notwendige Zykluszeit abzuleiten. Der Software-Treiber der CPU berechnet in diesem Fall aus der Vorgabe der Länge der Ethernet-Telegramme und der maximal zulässigen Dauer des Steuerzyklus, um eine

5 Echtzeitanwendung, wie z. B. eine Maschinensteuerung mithilfe der Ethernet-Netzwerkes ausführen zu können, die optimale Zykluszeit, die einen kontinuierlichen Versand der Ethernet-Telegramme gewährleistet. Der Softwaretreiber stellt dann wiederum die zu versendenden Daten gemäß der Ethernet-

10 Übertragungsnorm in entsprechend lange Ethernet-Telegramme mit Startkennung 51, Präambel 52 und Checksumme 54 zusammen und legt sie im physikalischen Speicher 11 des Knotens 1 ab. Das Sende-Schieberegister 33 des Ethernet-Controllers 3 greift anschließend auf diese Ethernet-Telegramme 5 zu und

15 speichert sie zwischen. Ab einem gewissen Füllstand im Sende-Schieberegister 33 wird dann mit dem Sendevorgang begonnen, wobei kontinuierlich Ethernet-Telegramme innerhalb der berechneten Zykluszeit unter Einhaltung der vorgeschriebenen Pausenzeit versendet werden.

20

Beim erfindungsgemäßen Sendevorgang, bei dem quasi kontinuierlich gesendet wird, muss weiter gewährleistet sein, dass auf dem Sendekanal keine Kollisionen auftreten, da dann der Ethernet-Controller die Übertragung unterbricht und erst später

25 wieder aufnimmt muss. Eine geeignete Topologie des Ethernet-Netzwerkes für einen kollisionsfreien Sendevorgang stellt dabei eine Peer-zu-Peer-Verbindung zwischen den Knoten dar. Es besteht auch die Möglichkeit, mehrere Teilnehmer über einen Switch, der Kollisionen verhindert, anzusteuern. Auch eine

30 ringförmige Netztopologie von mehreren Knoten ist möglich, wobei dann die Ethernet-Telegramme mit geringer Verzögerung von Knoten zu Knoten weitergeleitet und anschließend an den ursprünglichen Sende-Knoten zurückgeschickt werden.

35 Echtzeitanwendungen benötigen in der Regel auch Rückmeldungen der angesteuerten Teilnehmer. In diesem Fall ist die Ethernet-Übertragungsstrecke 2 als Vollduplex-Übertragungsstrecke

mit getrenntem Sende- und Empfangskanal ausgebildet, um die zu versendenden Ethernet-Telegramme nicht durch empfangene Telegramme mit den Rückmeldungen zu beeinflussen. Die Menge der zurückgesendeten Daten darf dabei auch nicht die Menge
5 der ursprünglich gesendeten Daten überschreiten, da diese dem Maximum der Übertragungskapazität entsprechen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Versenden von Daten in Form von Ethernet-Telegrammen auf einer Ethernet-Übertragungsstrecke, mit den
5 Verfahrensschritten

Umsetzen der zu versendenden Daten gemäß einer Übertragungsnorm des Ethernet-Protokolls, um Ethernet-Telegramme zu bereitzustellen, und

und zyklischen Versenden der bereitgestellten Ethernet-Telegramme mit einer vorgebenen Ethernet-Übertragungsnorm,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
der Sendevorgang der bereitgestellten Ethernet-Telegramme so gesteuert, dass im Anschluss an ein gesendetes Ethernet-Telegramm direkt das nächste Ethernet-Telegramm unter Einhaltung
15 der in der Ethernet-Übertragungsnorm definierten Pausezeit gesendet wird, um so während der gesamten Zykluszeit kontinuierlich Ethernet-Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke auszugeben.

20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum fortlaufenden Senden der bereitgestellten Ethernet-Telegramme bei einer vorgebenen Länge der Ethernet-Telegramme die Länge der Zykluszeit im Rahmen der maximal zulässigen Dauer des Zyklus angepasst wird, um während der gesamten Zykluszeit
25 kontinuierlich Ethernet-Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke auszugeben.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum fortlaufenden Senden der bereitgestellten Ethernet-Telegramme bei einer vorgegebenen Zykluszeit die Anzahl und/oder
30 die Länge der in einem Zyklus zu versendenden Ethernet-Telegramme angepasst wird, um während der gesamten vorgebenen Zykluszeit kontinuierlich Ethernet-Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke auszugeben.

35

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zum Berechnen der Anzahl und/oder der Länge der in einem Zyklus

lus zu versendenden Ethernet-Telegramme die auf der Ethernet-Übertragungsstrecke verwendete Baudrate, die Länge der beim Umsetzen der Daten gemäß der Übertragungsnorm des Ethernet-Protokolls jeweils in das Ethernet-Telegramm eingefügten
5 Startkennung, Präambel und Checksumme und die Länge der zwischen den zu versendeten Ethernet-Telegrammen einzuhaltenden Pausenzeit berücksichtigt werden.

10 5. — Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Bitlänge L des in einem Zyklus zu versendenden Ethernet-Telegramms bei einer auf der Ethernet-Übertragungsstrecke verwendeten Baudrate von ba Mbaud, einer Zykluszeit von zy μs , einer Startkennungslänge von st Bit, einer Präambellänge von pr Bit, einer Checksummenlänge von ch Bit und
15 einer Pausenzeit von pa Bit wie folgt berechnet wird:
$$L = (ba * zy) - (st + pr + ch + pa).$$

20 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass dann, wenn die maximale Bitlänge L größer als die maximale mögliche Bitlänge der Ethernet-Telegramme ist, die Anzahl und die Länge der zusendeten Ethernet-Telegramme so gewählt wird, dass in einem Zyklus mehrere Ethernet-Telegramme versendet werden, deren gemeinsame Bitlänge der Zykluszeit entspricht.

25 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zum fortlaufenden Senden der bereitgestellten Ethernet-Telegramme die bereitgestellten Telegramme in einem Zwischenspeicher zwischengespeichert werden und der Sendevorgang gestartet wird, sobald ein vorgegebener Füllstand im Zwischenspeicher erreicht ist.
30

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die zu versendeten Daten Echtzeitdaten sind und eine die zu versendenden Echtzeitdaten erzeugende
35 Echtzeitanwendung mit dem Sendevorgang der Ethernet-Telegramme synchronisiert wird.

9. Knoten für Ethernet-Netzwerk mit einer Steuereinheit (1; 11, 12) zum Umsetzen von zu versendenden Daten gemäß einer Übertragungsnorm des Ethernet-Protokolls, um Ethernet-Telegramme zu bereitzustellen, und
5 einer Sendeeinheit (3; 31, 33) zum zyklischen Versenden der bereitgestellten Ethernet-Telegramme mit einer vorgegebenen Ethernet-Übertragungsnorm auf einer Ethernet-Übertragungsstrecke (2),
dadurch gekennzeichnet, dass
10 die Steuereinheit (1; 11, 12) den Sendevorgang der bereitgestellten Ethernet-Telegramme durch die Sendeeinheit (3; 31, 33) so steuert, dass im Anschluss an ein gesendetes Ethernet-Telegramm direkt das nächste Ethernet-Telegramm unter Einhaltung der in der Ethernet-Übertragungsnorm definierten Pausenzeit
15 gesendet wird, um so während der gesamten Zykluszeit kontinuierlich Ethernet-Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke (2) auszugeben.
10. Knoten nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die
20 Steuereinheit (1; 11, 12) zum Anpassen der Länge der Zykluszeit bei einer vorgegebenen Länge der zu versendenden Ethernet-Telegramme im Rahmen der maximal zulässigen Dauer des Zyklus ausgelegt ist, um während der gesamten Zykluszeit kontinuierlich Ethernet-Telegramme auf die Ethernet-Übertragungsstrecke
25 (2) auszugeben.
11. Knoten nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (1; 11, 12) zum Anpassen der Anzahl und/oder der Länge der in einem Zyklus zu versendenden Ethernet-Telegramme an eine vorgegebene Zykluszeit, um während der gesamten vorgegebenen Zykluszeit kontinuierlich Ethernet-Telegramme
30 auf die Ethernet-Übertragungsstrecke (2) auszugeben.
12. Knoten nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeeinheit (3; 31, 33) einem Zwischenspeicher (33) zum Zwischenspeichern der bereitgestellten Ethernet-Telegramme aufweist, wobei die Steuereinheit (1; 11,
- 35

12) zum Starten des Sendevorgangs in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Füllstand im Zwischenspeicher (33) ausgelegt ist.

- 5 13. Knoten nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (1; 11, 12) zum Synchronisieren einer die zu versendenden Echtzeitdaten erzeugende Echtzeitanwendung mit dem Sendevorgang der Ethernet-Telegramme ausgelegt ist.

10

14. Ethernet-Netzwerk mit Ethernet-Übertragungsstrecke (2) und einer Mehrzahl von mit der Ethernet-Übertragungsstrecke verbundenen Knoten (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Sendekanal der Ethernet-Übertragungsstrecke (2) ausgelegt ist, die Ethernet-Telegramme kollisionsfrei zu übertragen.

15

15. Ethernet-Netzwerk nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Ethernet-Übertragungsstrecke (2) eine ringförmig angeordnete Topologie aufweist und die vom Sende-Knoten (1) versandten Ethernet-Telegramme von einem Knoten zum nächsten Knoten weitergeleitet werden.

20

25

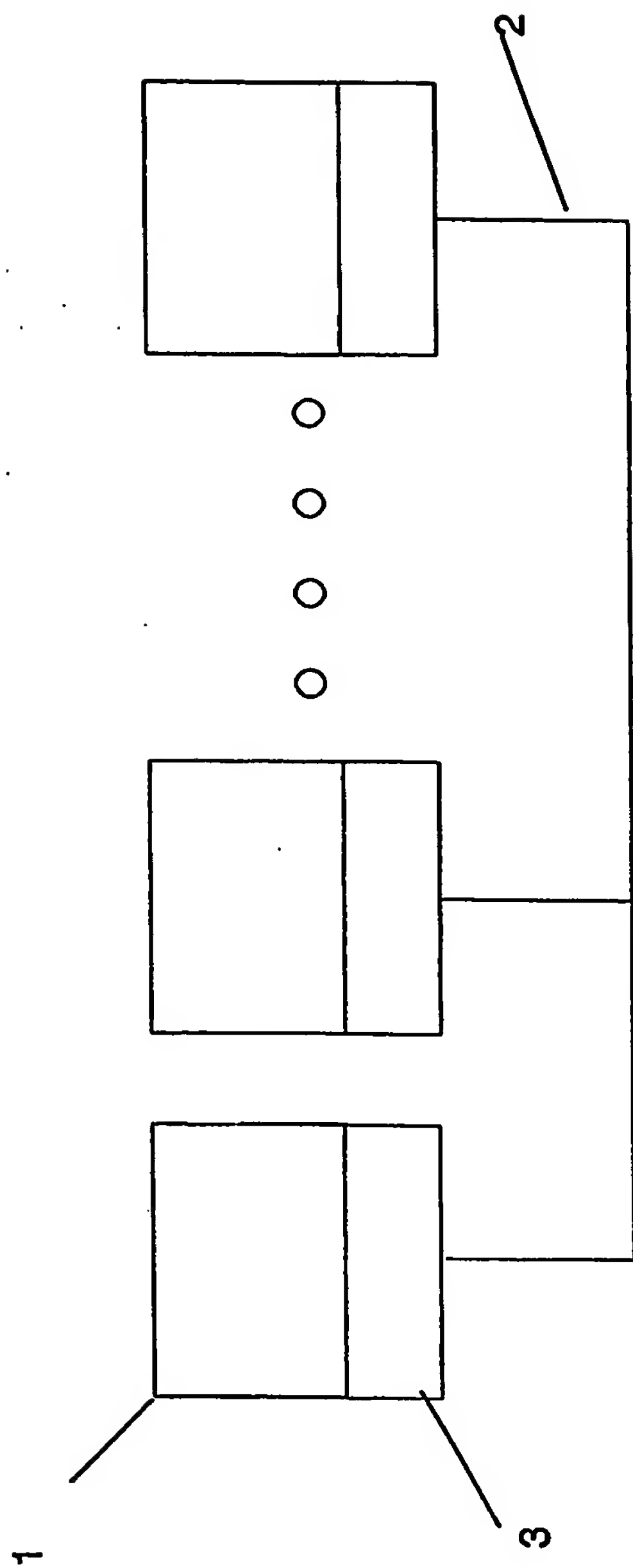


Fig. 1A

Fig. 1B

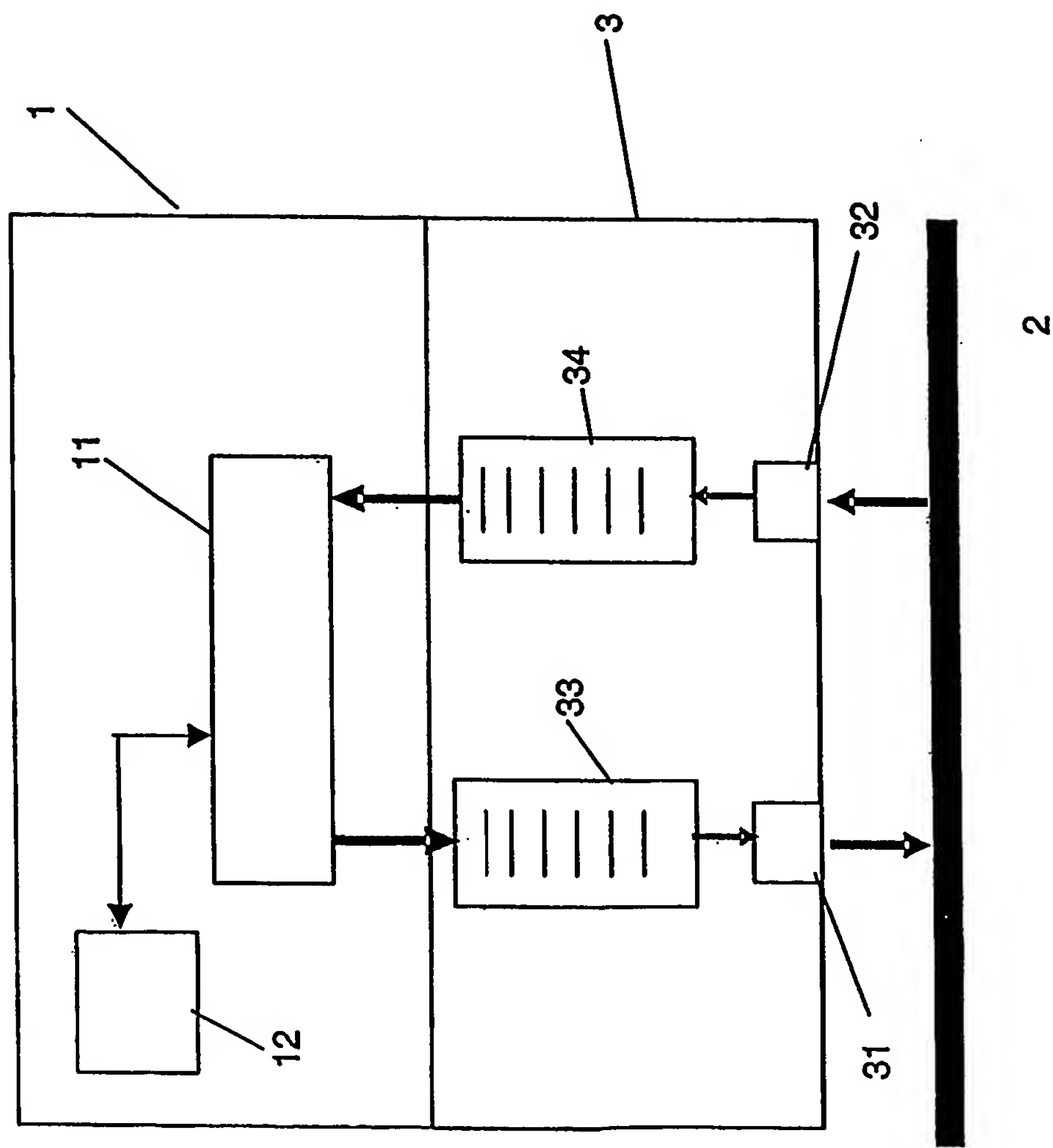


Fig. 2A

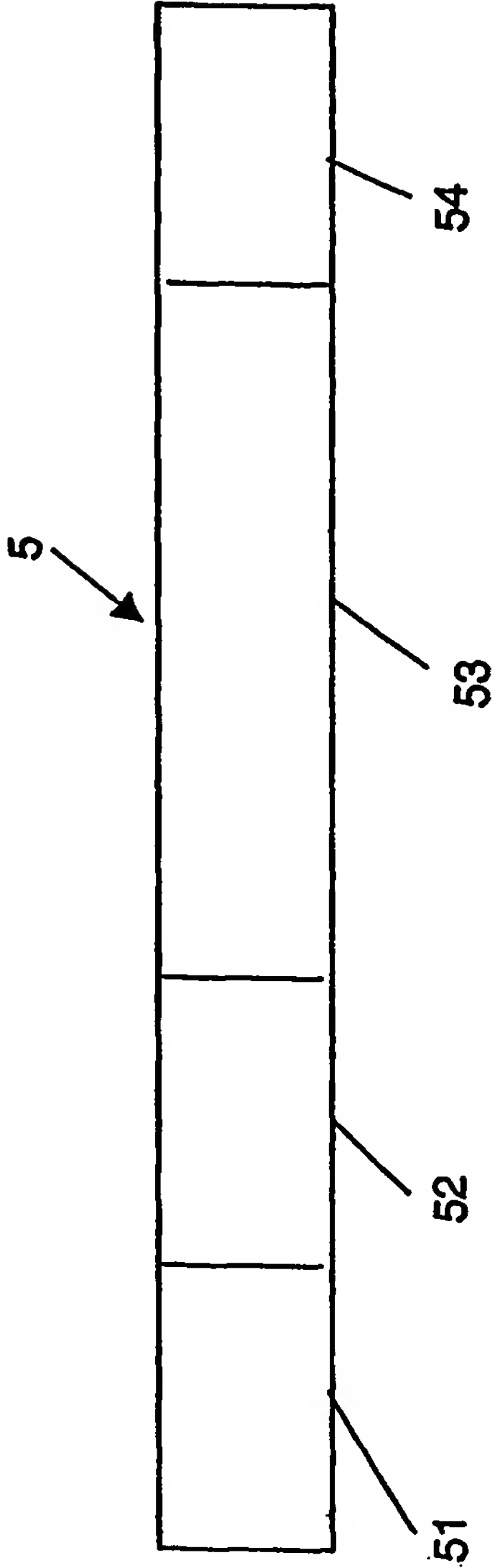
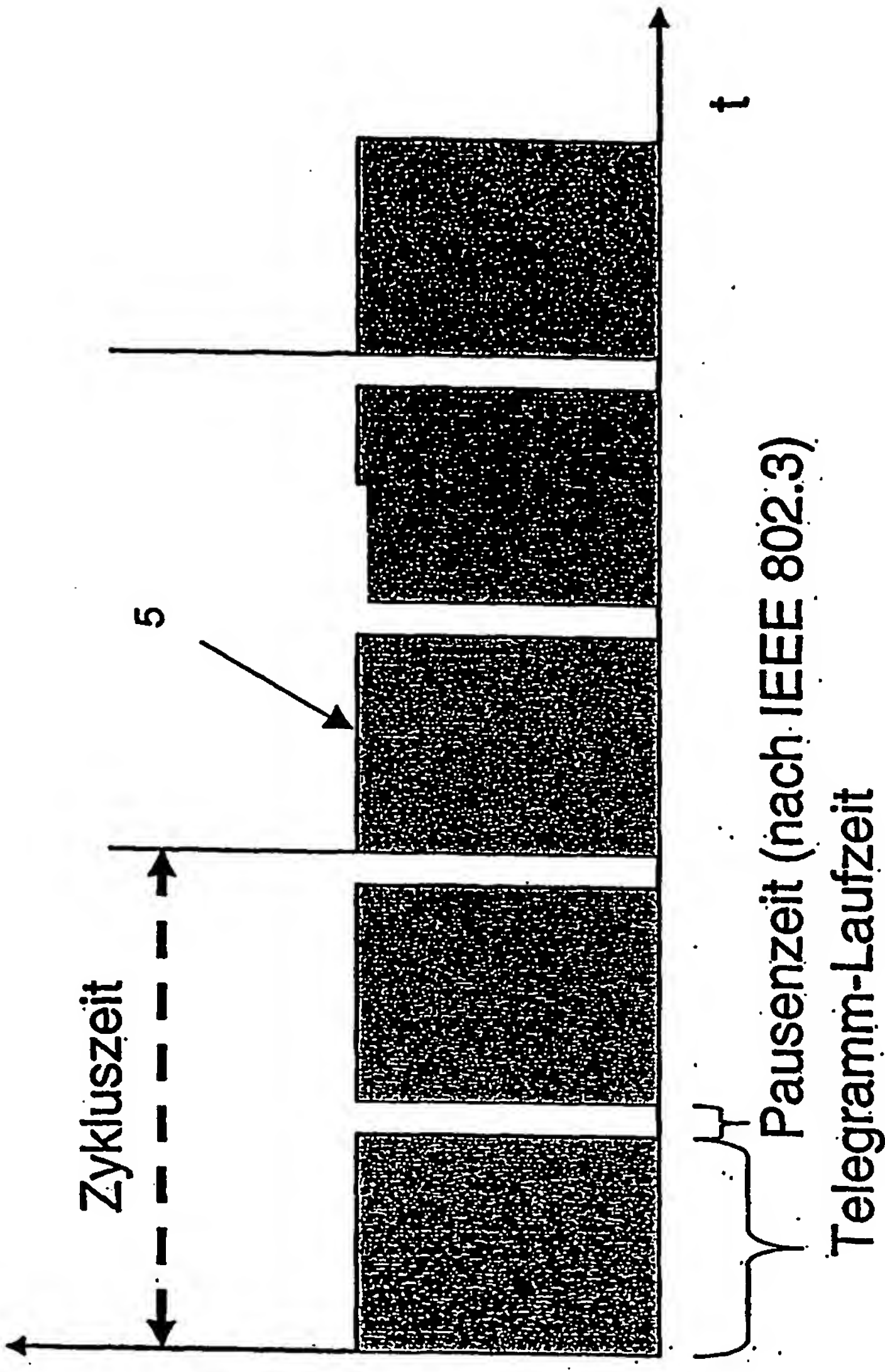


Fig. 2B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/014832

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G05B19/418 H04L12/413

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MANDEVILLE B; SHAH A V: "Benchmarking Methodology for Ethernet Switches <draft-ietf-bmwg-ethernet-switches-00.txt> "	1,9,14
A	INTERNET DRAFT, December 1995 (1995-12), pages 1-14, XP002322529	2-6,10, 11
Y	----- -/--	7,12



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 May 2005

Date of mailing of the international search report

16. 06. 2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Eraso Helguera, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/014832

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>CHITRA VENKATRAMANI ET AL: "DESIGN, IMPLEMENTATION, AND EVALUATION OF A SOFTWARE-BASED REAL-TIME ETHERNET PROTOCOL"</p> <p>COMPUTER COMMUNICATION REVIEW, ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY. NEW YORK, US, vol. 25, no. 4, 1 October 1995 (1995-10-01), pages 27-37, XP000541648</p> <p>ISSN: 0146-4833</p> <p>page 29, right-hand column, paragraph 4 - page 30, left-hand column, paragraph 4</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	3-6,11
Y	<p>EP 1 026 599 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 9 August 2000 (2000-08-09)</p> <p>paragraph [0021]</p> <p>paragraph [0094]</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	7,12
A	<p>BECKHOFF INDUSTRIE ELEKTRONIK: "Echtzeit Ethernet: Ultra High Speed bis zur Klemme" PC CONTROL, [Online]</p> <p>vol. 2003, no. 2, June 2003 (2003-06), pages 6-10, XP002328843</p> <p>Retrieved from the Internet: URL: http://www.pc-control.net/pdf/022003/pcc_0203_d.pdf [retrieved on 2005-05-20]</p> <p>page 6 - page 10</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	8,13
A	<p>VONNAHME E ET AL: "Measurements in switched Ethernet networks used for automation systems"</p> <p>FACTORY COMMUNICATION SYSTEMS, 2000. PROCEEDINGS. 2000 IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON PORTO, PORTUGAL 6-8 SEPT. 2000, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 6 September 2000 (2000-09-06), pages 231-238, XP010521815</p> <p>ISBN: 0-7803-6500-3</p> <p>the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	8,13
A	<p>HUTCHISON D ET AL: "ETHERNET FOR REAL-TIME APPLICATIONS"</p> <p>IEE PROCEEDINGS E. COMPUTERS & DIGITAL TECHNIQUES, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS. STEVENAGE, GB, vol. 134, no. 1, PART E, January 1987 (1987-01), pages 47-53, XP000810353</p> <p>ISSN: 0143-7062</p> <p>the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	8,13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

EP2004/014832

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

SEE SUPPLEMENTAL SHEET

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☒ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.: **1-14**
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☒
☐

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, namely

1. Claims 1, 2, 9, 10, 14

method, nodes and ethernet network for transmitting data with adaptation of the cycle time for a predetermined length of the ethernet telegrams.

2. Claims 3-6, 11

method and nodes for transmitting data with adaptation of the number and/or length of the ethernet telegrams to be transmitted in one cycle for a predetermined cycle time.

3. Claims 7, 12

method and nodes for transmitting data as soon as a buffer has reached a predetermined occupancy.

4. Claims 8, 13

method and nodes for transmitting real-time data synchronized with a real-time application.

5. Claim 15

ethernet network of ring topology.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/014832

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1026599	A	09-08-2000	JP 2000227843 A	15-08-2000
			JP 2001202322 A	27-07-2001
			CA 2298192 A1	08-08-2000
			CN 1263294 A ,C	16-08-2000
			EP 1026599 A2	09-08-2000
			HK 1030070 A1	08-02-2005
			US 6768557 B1	27-07-2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/014832

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 605B19/418 H04L12/413

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04L 605B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	MANDEVILLE B; SHAH A V: "Benchmarking Methodology for Ethernet Switches <draft-ietf-bmwg-ethernet-switches-00.txt> "	1,9,14
A	INTERNET DRAFT, Dezember 1995 (1995-12), Seiten 1-14, XP002322529	2-6,10, 11
Y	----- -/--	7,12



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. Mai 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16. 06. 2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beiensteier

Eraso Helguera, J

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>CHITRA VENKATRAMANI ET AL: "DESIGN, IMPLEMENTATION, AND EVALUATION OF A SOFTWARE-BASED REAL-TIME ETHERNET PROTOCOL"</p> <p>COMPUTER COMMUNICATION REVIEW, ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY. NEW YORK, US, Bd. 25, Nr. 4, 1. Oktober 1995 (1995-10-01), Seiten 27-37, XP000541648 ISSN: 0146-4833 Seite 29, rechte Spalte, Absatz 4 - Seite 30, linke Spalte, Absatz 4</p>	3-6,11
Y	<p>EP 1 026 599 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 9. August 2000 (2000-08-09) Absatz '0021! Absatz '0094!</p>	7,12
A	<p>BECKHOFF INDUSTRIE ELEKTRONIK: "Echtzeit Ethernet: Ultra High Speed bis zur Klemme" PC CONTROL, 'Online! Bd. 2003, Nr. 2, Juni 2003 (2003-06), Seiten 6-10, XP002328843 Gefunden im Internet: URL: http://www.pc-control.net/pdf/022003/pcc_0203_d.pdf 'gefunden am 2005-05-20! Seite 6 - Seite 10</p>	8,13
A	<p>VONNAHME E ET AL: "Measurements in switched Ethernet networks used for automation systems"</p> <p>FACTORY COMMUNICATION SYSTEMS, 2000. PROCEEDINGS. 2000 IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON PORTO, PORTUGAL 6-8 SEPT. 2000, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 6. September 2000 (2000-09-06), Seiten 231-238, XP010521815 ISBN: 0-7803-6500-3 das ganze Dokument</p>	8,13
A	<p>HUTCHISON D ET AL: "ETHERNET FOR REAL-TIME APPLICATIONS"</p> <p>IEE PROCEEDINGS E. COMPUTERS & DIGITAL TECHNIQUES, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS. STEVENAGE, GB, Bd. 134, Nr. 1, PART E, Januar 1987 (1987-01), Seiten 47-53, XP000810353 ISSN: 0143-7062 das ganze Dokument</p>	8,13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/014832

Feld II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☒ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
1-14
4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☒ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
☐ Die Zahlung zusätzlicher Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1,2,9,10,14

Verfahren, Knoten und Ethernet-Netzwerk zum Versenden von Daten mit Anpassung der Länge der Zykluszeit bei einer vorgegebenen Länge der Ethernet-Telegramme.

2. Ansprüche: 3-6,11

Verfahren und Knoten zum Versenden von Daten mit Anpassung der Anzahl und/oder die Länge der in einem Zyklus zu versendenden Ethernet-Telegramme bei einer vorgegebenen Zykluszeit.

3. Ansprüche: 7,12

Verfahren und Knoten zum Versenden von Daten sobald ein vorgegebener Füllstand eines Zwischenspeichers erreicht ist.

4. Ansprüche: 8,13

Verfahren und Knoten zum Versenden von Echtzeitdaten unter Synchronisierung mit einer Echtzeitanwendung.

5. Anspruch: 15

Ethernet-Netzwerk mit ringförmig angeordneter Topologie.

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Akkonzeichen

PCT/EP2004/014832

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1026599 A	09-08-2000	JP 2000227843 A	15-08-2000
		JP 2001202322 A	27-07-2001
		CA 2298192 A1	08-08-2000
		CN 1263294 A ,C	16-08-2000
		EP 1026599 A2	09-08-2000
		HK 1030070 A1	08-02-2005
		US 6768557 B1	27-07-2004

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.